

3/7

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-266945

(43)Date of publication of application : 29.09.2000

(51)Int.Cl.

G02B 6/10  
G02B 6/00

(21)Application number : 2000-011142

(71)Applicant : ALCATEL

(22)Date of filing : 20.01.2000

(72)Inventor : RIAnt ISABELLE  
SANSONETTI PIERRE

(30)Priority

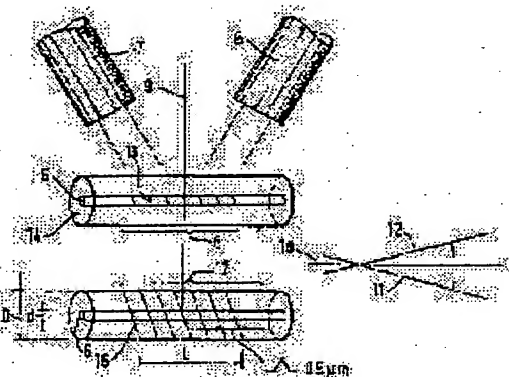
Priority number : 99 9900758 Priority date : 25.01.1999 Priority country : FR

## (54) FILTER OPTICAL WAVEGUIDE HAVING INCLINED AND LINEAR CHIRP

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an inclined Bragg grating optical waveguide part for adjusting spectral response of a transmission filter in an optical waveguide or in an optical fiber.

SOLUTION: In order to smooth response of a filter modulated by combination with many kinds of clad modes, a pitch of a Bragg grating is changed linearly along the length of the filter. In order to fit an attenuation band to a necessary band, a clad of an optical fiber is doped with photosensitive material, to thereby form a grating also in the clad. The photosensitivity of the clad is advantageously larger than the photosensitivity of a core with the ratio of about 5:1.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

3/7

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-266945

(P 2 0 0 0 - 2 6 6 9 4 5 A)

(43) 公開日 平成12年9月29日(2000.9.29)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テラート* (参考)
G 0 2 B 6/10		G 0 2 B 6/10	C
6/00	3 0 6	6/00	3 0 6

審査請求 未請求 請求項の数13 O L 外国語出願 有 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2000-11142(P2000-11142)
(22) 出願日	平成12年1月20日(2000.1.20)
(31) 優先権主張番号	9 9 0 0 7 5 8
(32) 優先日	平成11年1月25日(1999.1.25)
(33) 優先権主張国	フランス (F R)

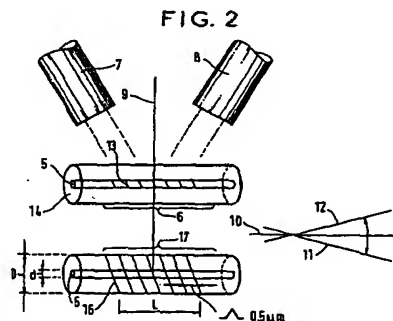
(71) 出願人	391030332 アルカテル フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボエ テイ 54
(72) 発明者	イザベル・リアン フランス国、91120・パレゾー、アブニユ・ ドユ・ジエネラル・ドウ・ゴール、レジダン ス・ドユ・バルク、3
(72) 発明者	ピエール・サンソネットイ フランス国、91120・パレゾー、アブニユ・ ドユ・ムラン・ドウ・ラ・プランシユ・8
(74) 代理人	100062007 弁理士 川口 義雄 (外2名)

(54) 【発明の名称】 傾斜および線形チャープを有するフィルタ光導波路

(57) 【要約】

【課題】 光導波路内または光ファイバ内の透過フィルタのスペクトル応答を調節するための傾斜ブラッグ格子光導波路部分を提供する。

【解決手段】 種々のクラッドモードとの結合により変調されたフィルタの応答を平滑化するために、ブラッグ格子のピッチをフィルタの長さに沿って線形に変化させる。減衰帯域を必要な帯域に適合させるために、光ファイバのクラッドを光感受性材料でドーブし、それによって格子がクラッド内にも形成されるようにする。クラッドの光感受性はコアの光感受性より5:1程度の比率で大きいことが有利である。



FP01-0235- 0000-5E
02.10.22
SEARCH REPORT

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率が変更可能な材料をドープした第1の導波領域と、前記第1の領域の周囲の第2の領域とを含むブラッグ格子フィルタ光導波路であって、前記ブラッグ格子が、ファイバの長さに沿って光屈折率の準周期的な連続した変化として前記第1の領域内に形成され、前記格子が、前記導波路内の光の伝播軸に垂直な面に対して傾斜し、前記ブラッグ格子が、さらに前記導波路の長さに沿って前記周期の変化を含み、前記周期の前記変化が、前記ファイバの長さに沿った単調な変化であり、前記第2の領域の全部または一部が、変更可能な屈折率を有する材料でドープされ、前記第2の領域も、前記導波路の長さに沿って同じ周期および前記周期の同じ単調な変化を有する、屈折率変更からなる準周期的かつ傾斜した縦方向格子を形成するように変更される、ブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項2】 前記導波路の長さに沿った前記周期の前記変化が線形である、請求項1に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項3】 前記格子が、数ミリメートルから数センチメートルまでの長さを有する、請求項1に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項4】 前記光導波路が光ファイバであり、前記第1の領域が前記光ファイバのコアであり、前記第2の領域が前記光ファイバのクラッドである、請求項1に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項5】 前記クラッドの材料が、屈折率変更材料でドープされる、請求項4に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項6】 前記変更材料がフッ素である、請求項5に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項7】 前記変更材料がホウ素である、請求項6に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項8】 前記ファイバの内側部分が、その内側部分に対する外側部分の光感受性より低い光感受性を有する、請求項4に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項9】 前記コアの材料が、屈折率変更材料でドープされる、請求項8に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項10】 前記変更材料がリンである、請求項9に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項11】 前記変更材料がアルミニウムである、請求項9に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項12】 前記内側部分および前記外側部分が、それぞれ前記ファイバの前記コアおよび前記クラッドに配置される、請求項8に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

【請求項13】 前記内側部分および前記外側部分が、前記ファイバの前記コアに配置される、請求項8に記載のブラッグ格子フィルタ光導波路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光導波路の透過スベクトルを変更するための周波数領域フィルタに関する。本発明の周波数領域フィルタは、その上にフィルタ能力を与えるように変更された光導波路の一部の中に形成される。本発明は、平面光導波路および光ファイバに適用される。光ファイバの例を用いて本発明の原理を説明するが、この教示を置き換えて光導波路に有効な様に10 応用する方法を当業者はわかるであろう。

## 【0002】

【従来の技術】 フィルタ光導波路は、平面導波路および光ファイバのコア部分の中のブラッグ格子を含む。ブラッグ格子は、導波路またはファイバのコアを紫外線照射することにより、その導波路またはファイバの材料の屈折率を周期的に変更することによって形成される。光照射で起こる屈折率の変更は、「屈折光効果 (refractive photo effect)」と称される。この効果は永続する。光照射によって変更できる屈折率を有する材料の性質を、本明細書ではその光感受性と呼ぶ。この光感受性特性は、現在の技術において、導波路または光ファイバのシリカマトリックス中のゲルマニウム欠陥の存在に関連づけられる。導波路または光ファイバのコアを光感受性にするために、他のドーパントを使用することもできる。

【0003】 ゲルマニウムの利点は、これがコアを取り巻く光クラッドの屈折率に対してファイバのコアの屈折率を高くするので、光ファイバのコア中に通常存在することである。この屈折率の増加は屈折率ステップとも呼ばれ、光信号をファイバのコアに導く。導波路について20 同じ効果が使用される。

【0004】 ドープしたまたはドープしないシリカの種々の層が、光ファイバプリフォームの製造中にガラス管の内側に連続的に堆積し、管の内壁に漸次付着して、光ファイバの種々の層を構成する。この方法で得られたプリフォームの直径は、このプリフォームを加熱線引きして得られるファイバの直径より大きい。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 フィルタの働きをする導波路またはファイバのコアの部分を、次いで選択的周期的に紫外線で露光し、ブラッグ格子を形成させる。この照射は、屈折率の永続的な局部変更を引き起こす。これらの変更は、導波路またはコアの中のゲルマニウム（または他のドーパント）原子の結合の化学的および構造的変更に関係する。この変更に起因する導波路またはファイバのコアの屈折率の値の変化は、千分のいくつかであり得る。

【0006】 こうして格子は、この部分に沿った屈折率の変調を含み、減衰器フィルタを形成する。

50 【0007】 従来、屈折率の変更が導波路または光ファ

イバの軸に垂直であるとき、フィルタを透過しない光量は、反射して導波路または光ファイバのコアに入射し、共振条件で決まるブラッグ波長で反射は最大になる。物理用語で言えば、共方向に伝播する基本モードが、反対方向に伝播するモードと結合する。

【0008】露光した部分の長さ、その部分に沿って変更が再現される周期、および変更の大きさ（変更の箇所における屈折率変化がより大きい小さいか）によって、以下の透過特性、即ち、幅、フィルタの中央周波数、および得られる減衰度（コントラスト）がそれぞれ変更される。

【0009】屈折率の大きい変化がファイバのコアで光誘起されると、基本モードも、またより短い波長でクラッドモードと結合する。E. DELEVAQUE らがOFC San Diego 1995, Post Deadline 5, conference に提出した論文D1 "Optical fiber design for strong gratings photimprinting with radiation mode suppression"によれば、これは、クラッドのコアに近接した部分を、ゲルマニウムでドーピングすることによって回避できる。屈折率ステップを再び設けるには、フッ素コードパントをクラッドに添加する。

【0010】1つの具体的な応用では、極めて長距離の光リンクに使用される増幅器のゲインの平坦度における欠陥を補償するために、このようなフィルタを使用することが試みられている。極めて長距離、特に海底のリンクにおいて、光ファイバ内の光波のキロメートル当たりの減衰は、光増幅器が所々に必要なほどである。このような増幅器は、伝送する周波数帯の中のある成分を系統的に優先させるという残念な欠点があることが知られている。

【0011】システムの全体的な容量およびモジュラ性を増大するために、種々のチャネルが異なる周波数で光搬送波により伝送される波長分割多重（WDM）リンクに、これらの光増幅器が使用されるという事実の故に、この現象はいっそう悪くなる。光増幅器に使用されるこの現象のために、スペクトル感度は規則的に補償されなければ受け入れることができない。この用途において、最も重要なのは、エルビウムドーピングされたファイバ光増幅器のゲインを平坦にすることである。他の用途は当然可能性がある。

【0012】したがって、この型のブラッグ格子フィルタは、フィルタリングが適用される増幅された信号成分の部分反射体として作用する欠点がある。したがって、これら周波数の光信号の一部は、反射して光増幅器に返される。その結果、フィルタで反射した光は、増幅器部分で干渉を起こすが、フィルタによって後方散乱した信号も、またラインに送り戻され伝送特性を劣化させる。

【0013】Electronics Letters, 1993年1月21日, vol. 29, No. 2, 154~156頁に発表されたR. Kashyap, R. Wyatt および R. J. Campbellの論文D2 "Wide

bandgain flattened erbium fiber amplifier using a photosensitive fiber blazed grating" は、特にこのような反射を防止するために、変調された屈折率領域を表すフリンジを傾斜させるという原理を検討している。これは244 nm で周波数を2倍にしたアルゴンレーザからの2つのビームを干渉させ、フィルタとして働く部分に対する垂直線をこの2つのビームの露光2等分線に対して傾斜させることにより達成される。位相マスクを用い、主として2次の回折（+1および-1）、および非常に小さい0次の回折を生じることにもできる。たとえば上記の文献では傾斜は8°である。傾斜の利点は反射を除くことである。これは、傾斜の効果が、共方向に伝播する基本モードを逆方向のクラッドモードと結合するからである。これらのクラッドモードは、非常に速くクラッドに吸収される。したがって、これら種々のクラッドモードの周波数成分セットのスペクトルエンベロープは、光増幅器のゲインの補償に使用されるファイバの特徴として使用することができる。

【0014】この方法の欠点はフィルタの選択性にある。これは、標準の通信ファイバを使用して、たとえば屈折率変更の傾斜を有するこの種のブラッグ格子フィルタを用いると、20 nm未満のフィルタ帯域が得られないことによる。理論的には、フィルタの帯域幅を低減するためにコアの直径を変えることは可能である。したがって、フィルタは、コア直径がより大きく、たとえば3 μmでなく9 μmであればより選択的になる。しかし、直径の増大には限度がある。さらに、これには大きい直径コアのファイバと標準直径コアとの間の適合部（9 μm程度）を必要とすることを含む多くの欠点がある。これらの適合部は製造が難しい。

【0015】クラッドモードによる減衰は、上述の目的に従って改善されるが、格子の長さは、フィルタの帯域幅をこれ以上低減できない。実際には、角度を減じるとフィルタがより選択的になるが、同時に反射による直立フリンジ型の残余放射が増加する。対照的に、角度の傾斜を増加させると、反射現象の効果が減少するがフィルタの帯域幅が増加し、すなわちフィルタの選択性が減少する。到達した妥協は、あらゆる場合に満足なものというわけではなく改善の余地がある。

【0016】この型のフィルタの第2の問題は、フィルタリングが適用される所望の帯域付近の低周波数帯域、すなわちより長い波長の帯域、におけるフィルタリバウンドに関連する。このリバウンドは、基本モードにおける上記の残余反射による。従来の光増幅器は帯域幅に限度があり、それを越えたところでフィルタリバウンドが起こるので、初期にはこのリバウンドは問題でなかった。しかしこれは低くしておくべきである。しかし、他の用途、特に地上用途において、フィルタは所望の帯域中の異なる成分を減衰させるために選択的に使用される。したがって、リバウンドは所望の帯域中にもある。

フィルタリバウンドは、したがってこれら他の用途においても問題である。

【0017】第3に、減衰は、実は異なるスペクトル成分の減衰のエンベロープに過ぎないことが既に指摘されている。すなわち、このエンベロープでは、スペクトルのある成分は効果的にフィルタリングされるが、それ以外はフィルタリングの程度が低いまたは全くフィルタリングされない。これはクラッドモードの離散性による。これらの条件下で、フィルタエンベロープは、互いに周波数ギャップで隔てられた一組の比較的狭い帯域幅の離散フィルタに相当し、そのギャップではフィルタリングされない。したがって、この種のフィルタは、光増幅器のゲインを正しく均等化するのに使用することができない。

【0018】文献D2の教示に関して上述した妥協の欠点は、文献D3"Ultra Narrow Band Optical Fiber Side tap Filters" M. J. Holmes, R. Kashyap, R. Wyatt および R. P. Smith, Proc. ECOC 1998, pp. 137~138, Madrid, 1998年9月20日~24日に述べられている。文献D3は、ファイバの(コアではなく)クラッド中に僅かに傾斜した格子を形成することによる、ブラッグ格子フィルタの選択性の増大を教示している。コア中にフリンジがないことにより、基本モードの逆反射損失は、非常に小さい傾斜角(文献D2の $8^\circ$ でなく $3^\circ$ )でもかなり低減する。

【0019】フランス特許出願98 06904 (A1)において、第1の問題は、フィルタリングプロセスに使用される干渉の現象にクラッドを関与させることにより解決される。出願A1の教示によれば、ブラッグ格子はコアおよびクラッド中に形成される。したがってブラッグ格子は、ファイバのコアより大きい直径で形成され、フィルタはより選択的になる。するとフィルタのスペクトルは、放射結合に寄与するクラッド部の直径を変更することにより容易に制御できる。

【0020】本発明は、文献D2を引用して上述した第3の問題、すなわちクラッドモードの離散性質の結果としてのフィルタの応答の変調を対象とする。ブラッグフィルタのフィルタパワー(コントラスト)を増大するために、光誘起屈折率変化の大きさ、またはフィルタの長さを増大することができる。本発明は、各クラッドモードへの結合を狭め、従ってフィルタ応答のより大きい変調という予想外の効果を有する、フィルタの長さを増大させる問題を対象とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】したがって本発明は、屈折率が変更可能な材料でドーブされた第1の導波領域と第1の導波領域の周囲の第2の領域とを含むブラッグ格子フィルタ光導波路であって、ブラッグ格子が、導波領域の長さに沿った光屈折率の準周期的な連続変化として光導波路内に形成され、格子が、導波路内の光の伝播軸

に垂直な面に対して傾斜し、ブラッグ格子が、さらに前記導波路の長さに沿った周期の変化を含み、その周期の変化が、ファイバの長さに沿った単調な変化である、ブラッグ格子フィルタ光導波路を提供する。すなわち、本発明は、線形「チャープ」(「チャープ」は、ブラッグ格子のピッチの変化に関して当業者が通常使用する用語である。)を有する傾斜ブラッグ格子フィルタに関する。

【0022】本発明の別の好ましい実施形態は、屈折率が変更可能な材料でドーブされた第1の導波領域と第1の導波領域の周囲の第2の領域とを含むブラッグ格子フィルタ光導波路であって、ブラッグ格子は、ファイバの長さに沿った光屈折率の準周期的な連続変化として第1の導波領域内に形成され、ブラッグ格子は、さらにファイバの長さに沿った周期の変化を含み、その周期の変化がファイバの長さに沿った単調な変化であり、格子が導波路内の光の伝播軸に垂直な面に対して傾斜している、ブラッグ格子フィルタ光導波路に関する。すなわち、本発明は、格子が傾斜している線形チャープを有するブラッグ格子フィルタに関する。

【0023】種々の実施形態において、格子は数ミリメートルから数センチメートルの間の長さを有する。

【0024】本発明の別の特徴によれば、前記第2の領域(クラッド)の一部または全体が、屈折率が変更可能な材料でドーブされ、第2の領域(クラッド)のこの材料もまた変更されて、前記ファイバの長さ(z)に沿って単調な周期 $\Delta L$ および前記周期 $\Delta L$ の同じ変化(「チャープ」) $\delta L(z)$ を有する傾斜屈折率変更からなる、準周期的な縦方向格子を形成する。

【0025】本発明は、出願A1、あるいはフランス特許出願98 06905 (A2-米国対応SN09/323, 136)の特徴を含むことが有利である。

【0026】本発明は、以下の説明を読み、添付の図面を検討すればよりよく理解できるであろう。図面は本発明を限定しない例として与えられる。

【0027】

【発明の実施の形態】全ての図において、同じ参照符号は同じ部分を示す。明瞭にするために全ての図の寸法は同じでない。

【0028】図1は光ファイバプリフォーム1を示す。プリフォーム1は、内側円筒状リング3および外側円筒状リング4に囲まれた第1の円筒2を含む。円筒およびリングは、線引きしたときに光ファイバの中に存在する種々の材料の層を表している。円筒および円筒状リング2~4の半径方向の寸法は、線引きされたときの光ファイバの対応する部分の遙かに小さい寸法に幾何学的に類似している。実際に、層2および層3にそれぞれ対応するファイバコアおよびクラッドは、共に数層からなる。したがって層2~3は、プリフォームを製造するときに種々のドーパントでドーブされる。

【0029】図2は、ファイバのコア5内の屈折率変更によって構成される格子を製造するのに使用することができる、光感受性材料を露光する好ましい方法を示す。光感受性光導波路内にブラッグ格子を、光で刻むために同様の方法を使用することができる。従来技術のファイバでは、円筒2を製造するときに、コア5がゲルマニウムでドーブされる。ゲルマニウムでドーブされたコアは、フィルタ部6に対応する長さにわたって、コヒーレントレーザからの2つの傾斜ビーム7および8で露光される。ビーム間角度の2等分線9は、コア5の軸10に実質的に垂直である。先に引用した文献D2に指摘されているように、レーザビーム7および8は、波長244nmで周波数2倍のアルゴンレーザからのものでよい。文献D2の教示によれば、軸10を2等分線9への垂線に対して11または12の方向に傾斜させることにより、傾斜した干渉フリンジを得ること、従って屈折率変更による傾斜した格子を得ることが可能である。図2は、傾斜したディスクの非常に概略的な部分薄片13を示す。実際に、変更の程度は、各フリンジと次のフリンジの間の極小と極大との間で次第に増加する。実際にはディスクがないが、この形の表現は便利である。

【0030】上記の代わりに、位相マスク装置を使用しても傾斜した格子を製造することができる。

【0031】直径9μmのコア5を製造することは、当技術分野ですでに知られている。米国ニューヨークのコーニングインコーポレイテッド製の標準SMF-28ファイバは、この直径の単モードファイバである。円筒3および4は、これらのファイバのクラディングチューブシステムを形成する。一例において、具体的には上に示した例において、システムの外側の直径Dは125〜130μm程度である。

【0032】1つの変形において、またA1およびA2の出願において説明されているように、コア5が製造される材料2をゲルマニウムでドーブするだけでなく、クラッドの材料3の全部または一部もドーブされる。したがって、露光したときに、フリンジ16が、コア5だけでなくクラッド3にも現れる。ここでも図2の下部は非常に概略的で、これらフリンジはディスク状でない。

【0033】屈折率変更が起こる部分17は、露光限界に依存する。長さはLである。種々の変更の最大値間の差は、フリンジ間の距離に対応するスペースΔL(0.5μm程度)を占める。これらの周期は、赤外線波長(約1.5μm)のフィルタを生じる。変更の大きさは、2つのレーザビーム7および8のパワー、露光時間、およびゲルマニウム濃度に関係する。上記パラメータは、部分17で構成されるフィルタの調整に有利である。

【0034】図3は、エルビウムドーブ光ファイバに基づいた光増幅器(EDFA、Erbium-Doped Fiber Amplifier)の望ましくない効

果の象徴的かつやや誇張した表現である曲線18を示す。これらの増幅器は、光伝送に使用される波長に中心を置かれた広い帯域幅を有するため有用である。しかし、これらにはスペクトルのある箇所で、スペクトルの他の箇所での増幅20に対して過増幅19を生じる欠点がある。これらの増幅器からの波の伝播経路に挿入されたフィルタで対処しなければならないのは、この過増幅19である。

【0035】曲線21は、図2下部に示したフィルタ部17の組み込みによって得られるフィルタを概略的に描いたものである。このフィルタの特徴は、そのブラッグ波長f0(フィルタの中央波長よりやや大きい)、それが課す選択的な減衰の大きさA、およびその帯域幅Bである。f0はΔLに依存し、Aはファイバに挿入された光感受性材料の変更の程度に依存し、垂直変更を有する標準ブラッグ格子のために、Bは部分17の長さLに依存することが知られている。長さLが増加すると、帯域幅Bが減少する。

【0036】傾斜した変更の従来技術では、ファイバのコア5のみがゲルマニウムでドーブされており、帯域幅Bは、過増幅19の帯域幅よりはるかに大きい。したがって、このファイバは、周波数の点では不適合である。既述の理由で、傾斜した変更では長さLを増大することが有益ではない。

【0037】図4は、本発明による光導波路(ここではファイバ)において得られた屈折率プロファイルを示す。ファイバのコア5の中心の横軸中央0に対して、両側に約4μmの距離にコア5の直径の両端の横軸、および約20μmの距離にクラッド3の直径の両端の横軸があることがわかる。この屈折率プロファイルの特徴は、0.5%程度のステップΔn=n<sub>c</sub>-n<sub>a</sub>である。この屈折率プロファイルは、ファイバのコア中に単一基本光学モードを伝播させるのに必要である。この屈折率プロファイルは、屈折率を増加させる性質を有する材料でファイバのコアをドーブすることによって得られる。一般に、ドーピングはゲルマニウムで行われる。リンも屈折率を増加させるのに使用することができる。

【0038】ゲルマニウムは、露光により化学結合および構造を変化させて、屈折率変更から成る格子を構成するため、利用可能な光感受性を有する。したがって、屈折率は、変化δnで部分17に沿って連続的に、そして一つフリンジから次のフリンジへと周期的に変化する。変化δnはΔnの一部である。

【0039】図5は、δnが1.65×10<sup>-3</sup>に等しく、フィルタの長さL=0.7mm、数度傾斜した格子で、均等ピッチ(チャープ無し)を備えた、出願A1〜A3によるフィルタの応答を示す図である。図3に示した増幅19の形に比較的良好に合致するなだらかな形状であるが、0.25dB程度の非常に低いコントラスト(すなわちフィルタリングパワー)にも注目されたい。



【0040】図6は、同じ製造パラメータを有するが、フィルタのコントラストを改善するために長さ $L$ を5mmに伸ばした、フィルタの応答を示す図である。反応の離散的な性質による変調が見られ、これは、フィルタの長さ $L$ を有する各クラッドモードへの結合のスペクトル幅における減少による。このフィルタは、意図した用途に使用することができない。

【0041】図7は、左側は、長さ数mmであるが一定ピッチで傾斜した格子、右側は、同じ傾斜および同じ長さであるがフィルタの長さ $(z)$ に沿ってピッチの変化(チャープ)を有する本発明による格子の単一クラッドモードへの結合のスペクトル形を示す図である。各クラッドモードへの結合のスペクトルの広がりのため、図6の応答曲線がなだらかなる。

【0042】図8は、本発明によるフィルタの1例の応答曲線の1例を示す図である。フィルタの製造パラメータは、格子のピッチがフィルタの長さ $(z)$ に沿って変化する(チャープされた)以外は、図6のフィルタのそれと同じである。この2つのフィルタが同じ長さであるにもかかわらず、図6に見られるクラッドモードへの結合による変調は除かれていることが分かる。一方、最大減衰が短いフィルタの $-0.25$  dBに対して少なくとも $-1.5$  dBであるから、本発明によるフィルタのコントラスト(フィルタリングパワー)は、図5の短いフィルタに対する明らかな改善が見られる。

【0043】図9は、本発明によるチャープされた傾斜格子フィルタの形状を示す図である。使用されている参照符号は、図2と同じである。たとえば、種々のパラメータは以下の値を有することができる。

【0044】コア屈折率  $n_c = 1.444$

クラッド屈折率  $n_k = 1.449$

屈折率ステップ  $\Delta n = n_c - n_k = 5 \times 10^{-3}$

コア直径  $d = 8 \mu\text{m}$

クラッド直径  $D = 125 \mu\text{m}$

光で刻まれたフィルタ長さ  $L = 5 \text{ mm}$

フィルタ傾斜  $\Theta = 4^\circ$

ブラッグ格子公称ピッチ  $\Delta L = 540 \text{ nm}$

対応ブラッグ波長  $\Delta B = 1562 \text{ nm}$

線形チャープ値  $\delta L(z) = 0.2 \text{ nm/mm}$

既に説明したように、これら種々のパラメータの値の選択により、フィルタ設計者は、フィルタの中央波長および、たとえばエルビウムドープファイバ光増幅器へのフィルタのスペクトル応答を調節することができる。しかし、本発明によるフィルタを、解決されるべき任意の他の光源または他のスペクトル上の問題に適合させることも考えられる。フィルタの長さを調整して必要なコントラストを得ることができ、フィルタのスペクトル幅を調整するには傾斜角を調整しなければならない。出願A 1、A 2およびA 3におけるように、種々のコア/クラッド屈折率プロファイルおよび種々のコア/クラッド光

感受性ドーピングを用いて、クラッドモードへの結合のいくらかを助長または除くことができる。

【0045】光導波路として光ファイバの非限定的例を用いて、本発明を説明した。この例を一般化して、あらゆる種類の光導波路、特にシリカ基板などの基板上に形成された平面導波路、に応用する方法が当業者には分かるであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のフィルタ光ファイバを製造するために使用することができる光ファイバプリフォームを示す図である。

【図2】本発明の光ファイバをフィルタ機能用に調製するために使用することができる方法を示す図である。

【図3】一用途におけるエルビウムドープファイバ光増幅器の増幅欠陥、および本発明のフィルタによる補正を示す周波数の図である。

【図4】本発明のフィルタ光ファイバのコアおよびクラッドの屈折率プロファイルの一例を示す図である。

【図5】出願A 1またはA 2あるいはフランス特許出願 98 06906 (A 3-US対応SN 09/316, 396)に従って実施された、短い(長さ0.7mm)傾斜ブラッグ格子、従って低コントラスト( $-0.25$  dB)のフィルタの透過曲線の一例を示す図である。

【図6】コントラスト改善のために長く(5mm)作られた傾斜ブラッグ格子フィルタの透過曲線の一例を示す図である。

【図7】チャープなしおよびチャープされた傾斜格子の伝播波長に応じたクラッドモードへの結合の比較を、図形的に任意スケールで示す図である。

【図8】コントラストがより大きい( $-1.5$  dB)本発明の中間の長さ(5mm)のチャープされた傾斜ブラッグ格子フィルタの透過曲線の一例を示す図である。

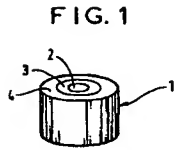
【図9】本発明によるチャープされた傾斜ブラッグ格子を有する光フィルタの一例を示す図である。

【符号の説明】

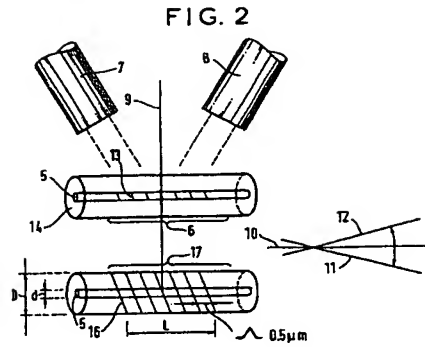
- 1 プリフォーム
- 2 円筒
- 3 内側円筒状リング
- 4 外側円筒状リング
- 5 コア
- 6 フィルタ部
- 7、8 傾斜ビーム
- 9 2等分線
- 10 軸
- 11、12 方向
- 13 部分薄片
- 16 フリンジ
- 17 フィルタ部分
- 18、21 曲線
- 19 過増幅

20 増幅

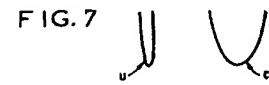
【図1】



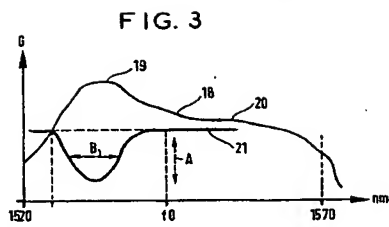
【図2】



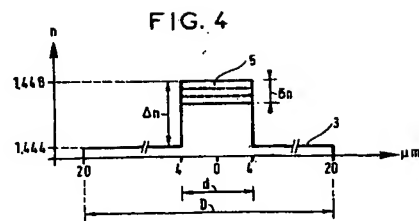
【図7】



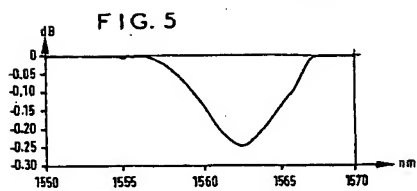
【図3】



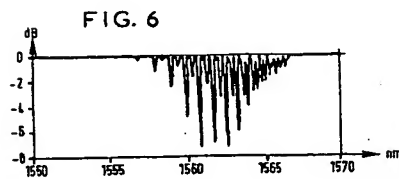
【図4】



【図5】

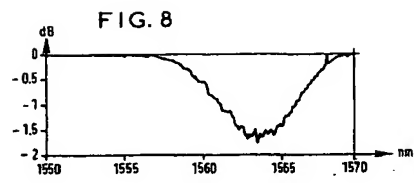


【図6】

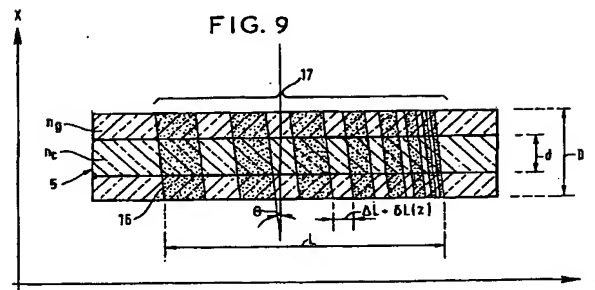




【図8】



【図9】



## 【外国語明細書】

## 1. Title of Invention

FILTER OPTICAL WAVEGUIDE WITH INCLINATION AND LINEAR CHIRP

## 2. Claims

1. A Bragg grating filter optical waveguide including a first guiding region doped with a material whose refractive index can be modified and a second region around said first region, wherein said Bragg grating is formed in said first region as a quasi-periodic succession of variations of the optical refractive index along the length of said fiber; said grating is inclined relative to a plane perpendicular to the axis of propagation of light in said waveguide; said Bragg grating further includes a variation of said period along the length of said waveguide; said variation of said period is a monotonous variation along the length of said fiber; all or part of said second region is doped with a material having a refractive index that can be modified and said second region is also modified to form a quasi-periodic and inclined longitudinal grating made up of index modifications with the same period and with the same monotonous variation of said period along the length of said waveguide.
2. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 1 wherein said variation of said period along the length of said guide is linear.
3. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 1 wherein said grating has a length from a few millimeters to a few centimeters.
4. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 1 wherein said optical waveguide is an optical fiber, said first region is the core of said optical fiber and said second region is the cladding of said optical fiber.
5. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 4 wherein the material of said cladding is doped with a refractive index correcting material.
6. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 5 wherein said correcting material is fluorine.
7. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 6 wherein said correcting material is boron.
8. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 4 wherein an internal part of said fiber has a photosensitivity less than the photosensitivity of a part external to that internal part.

9. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 8 wherein the material of said core is doped with a refractive index correcting material.
10. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 9 wherein said correcting material is phosphorus.
11. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 9 wherein said correcting material is aluminum.
12. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 8 wherein said internal and external parts are respectively placed in said core and in said cladding of said fiber.
13. The Bragg grating filter optical waveguide claimed in claim 8 wherein said internal and external parts are placed in said core of said fiber.

### 3. Detailed Description of Invention

#### BACKGROUND OF THE INVENTION

##### Field of the invention

The present invention relates to a frequency domain filter for modifying the transmission spectrum of an optical waveguide. The frequency domain filter of the invention is formed in a portion of optical waveguide which is modified to confer a filtering capability on it. The present invention applies to planar optical waveguides and to optical fibers. The principles of the invention are illustrated using the example of optical fibers, but the skilled person will know how to transpose this teaching to apply it as it stands to optical waveguides.

##### Description of the prior art

Filter optical waveguides include Bragg gratings in planar waveguides and in core sections of optical fibers. The Bragg gratings are formed by periodically modifying the refractive index of the material of the waveguide or the fiber by ultraviolet irradiation of the waveguide or the core of the fiber. The modification of the refractive index caused by exposure to light is referred to as the "refractive photo effect". This effect is permanent. The property of a material having an index that can be modified by irradiating it with light is referred to herein as its photosensitivity. The photosensitivity characteristics are related in the current state of the art to the presence of a germanium defect in the silica matrix of the waveguide or optical fiber. Other dopants can be used to render the waveguide or the core of the fiber photosensitive.

An advantage of germanium is that it is normally present in the core of optical fibers because it increases the refractive index of the core of the fiber relative to that of the optical cladding surrounding the core. This increase in the index, also referred to as the index step, guides the light signal in the core of the fiber. The same effect is used for waveguides.

Various layers of doped or undoped silica are successively deposited on the inside of a glass tube during the fabrication of an optical fiber preform and progressively adhere to the inside wall of the tube to constitute the various layers of the optical fiber. The diameter of a preform obtained in this way is greater than the diameter of the fiber, which is obtained by heating and drawing the preform.

A section of the waveguide or the core of the fiber which is to serve as a filter is then selectively and periodically exposed to ultraviolet radiation to form the Bragg grating. This irradiation brings about permanent local modifications of the

refractive index. These modifications are related to a chemical and structural modification of the bonds of the germanium (or other dopant) atoms in the waveguide or the core. The variation in the value of the refractive index of the waveguide or the core of the fiber resulting from these modifications can be a few parts per thousand.

The grating then consists of a modulation of the refractive index along the section forming an attenuator filter.

Conventionally, when the refractive index modifications are perpendicular to the axis of the waveguide or the optical fiber, the quantity of light not transmitted by the filter is reflected into the waveguide or into the core of the optical fiber, with maximum reflection at the Bragg wavelength, which is determined by a resonance condition. In physical terms, the fundamental mode propagating codirectionally is coupled to the mode propagating contradirectionally.

Depending on the length of the section exposed, the period at which the modifications are reproduced along that section and the magnitude of the modification (the greater or lesser variation of the refractive index at the location of the modifications), the following transmission characteristics can be respectively modified: the width, the center frequency of the filter, and the degree of attenuation obtained (contrast).

If large variations of the index are photo-induced in the core of a fiber, the fundamental mode is also coupled to cladding modes, at shorter wavelengths. According to the paper D1 = "Optical fiber design for strong gratings photimprinting with radiation mode suppression" by E. DELEVAQUE et al. given to the OFC San Diego 1995, Post Deadline 5, conference, this can be avoided by doping part of the cladding close to the core with germanium. A fluorine codopant is added to the cladding to re-establish the index step.

In one particular application, attempts have been made to use such filters to compensate defects in the flatness of the gain of amplifiers used along very long haul optical links. Over very long distances, and in particular on submarine links, the attenuation per kilometer of the light waves in the optical fibers is such that optical amplifiers are required from place to place. Such amplifiers are known to have the unfortunate drawback of systematically favoring some of the frequency components in the band transmitted.

This phenomenon is accentuated by the fact that these optical amplifiers are used in wavelength division multiplexed (WDM) links in which various channels

are transported by optical carriers at different frequencies in order to increase the global capacity and modularity of the system. Because of the phenomenon employed in the optical amplifier, the spectral response would be unacceptable if it were not regularly compensated. In the present application, what is most important is to flatten the gain of the erbium-doped fiber optical amplifiers. Other applications are naturally feasible.

This type of Bragg grating filter therefore has the disadvantage of acting as a partial reflector of the components of the amplified signal to which the filtering applies. Part of the optical signal at these frequencies is therefore reflected back into the optical amplifier. As a result, the signal reflected by the filter causes interference in the amplifier section, but the signal back-scattered by the filter is also sent back in the line and degrades transmission characteristics.

The article D2 = "Wideband gain flattened erbium fiber amplifier using a photosensitive fiber blazed grating" by R. Kashyap, R. Wyatt and R.J. Campbell published in Electronics Letters, 21 January 1993, vol. 29, N° 2, pages 154 through 156, in particular envisages the principle of inclining the fringes representative of the modulated index areas in order to prevent such reflection. This can be achieved by causing two beams from an argon laser doubled in frequency at 244 nm to interfere and by inclining the normal to the section serving as a filter relative to the exposure bisector of the two beams. A phase mask can also be used, principally generating two orders of diffraction (+1 and -1) and a very small zero order. The inclination is 8° in the above article, for example. The advantage of the inclination is that it eliminates reflection. This is because the effect of the inclination is to couple the fundamental mode propagating codirectionally with contradirectional cladding modes. These cladding modes are very quickly absorbed by the cladding. The spectral envelope of the set of frequency components in these various cladding modes can then be used as characteristic of a fiber used to compensate the gain of the optical amplifiers.

The disadvantage of this technique lies in the selectivity of the filter. This is because, using standard telecommunication fibers, it is not possible to obtain a filter band less than 20 nm, for example, using a Bragg grating filter of this kind with inclination of the index modifications. It is possible in theory to alter the diameter of the core to reduce the bandwidth of the filter. The filter is therefore more selective if the core diameter is greater, for example 9 µm instead of 3 µm. However, this increase in diameter is limited. Furthermore it has a number of drawbacks, including

that of requiring adaptation sections between a fiber with a large diameter core and a fiber with a standard diameter core (in the order of  $9\ \mu\text{m}$ ). These adaptations are difficult to make.

The attenuation by the cladding modes is improved, which is in accordance with the stated objective, but the length of the grating can no longer reduce the bandwidth of the filter. In practice reducing the angle makes the filter more selective but at the same time increases residual emission by reflection, of the upright fringe type. In contrast, increasing the inclination of the angle reduces the effect of the reflection phenomenon but increases the bandwidth of the filter, i.e. reduces the selectivity of the filter. The compromise arrived at is not satisfactory in all cases and there is room for improvement.

A second problem with this type of filter is connected with filter rebound in a low-frequency band, i.e. a band at a greater wavelength, close to the wanted band in which the filtering is applied. This rebound is due to the residual reflection referred to above in the fundamental mode. Initially this rebound is not a problem because prior art optical amplifiers have a limited bandwidth, outside which the filter rebound occurs. It must nevertheless remain low. However, in other applications, and in particular in terrestrial applications, the filter is used selectively to attenuate different components in the wanted band. The rebound will therefore also be in the wanted band. Filter rebound is therefore a problem in these other applications.

Thirdly, it has already been pointed out that the attenuation is in fact merely the envelope of the attenuations of different spectral components. This means that, within the envelope, some spectral components are effectively filtered while others are filtered to a lesser degree, or even not at all. This is due to the discrete nature of the cladding modes. Under these conditions, the filter envelope corresponds to a set of relatively narrow bandwidth discrete filters separated from each other by frequency gaps in which there is no filtering. Thus a filter of this kind cannot be used to equalize correctly the gain of the optical amplifiers.

The drawback of the compromise referred to above in connection with the teaching of document D2 is addressed in document D3 = "Ultra Narrow Band Optical Fiber Sidetap Filters" by M.J. Holmes, R. Kashyap, R. Wyatt and R.P. Smith, Proc. ECOC 1998, pp. 137-138, Madrid, 20-24 September 1998. Document D3 teaches increasing the selectivity of a Bragg grating filter by forming a slightly inclined grating in the cladding of the fiber (and not in the core). Because of the absence of fringes in the core, retroreflection losses in the fundamental mode are



considerably reduced, even at very small angles of inclination ( $3^\circ$  rather than the  $8^\circ$  of document D2).

In French patent application 98 06904 (A1), the first problem is solved by causing the cladding to participate in the phenomenon of interference employed in the filtering process. According to the teaching of application A1, the Bragg grating is formed in the core and in the cladding. It is therefore formed over a greater diameter than the core of the fiber and the filter is therefore rendered more selective. The spectrum of the filter is then easily controlled by altering the diameter of the part of the cladding that contributes to the radiative coupling.

The present invention addresses the third problem referred to above with reference to document D2, namely the modulation of the response of the filter as a consequence of the discrete nature of the cladding modes. To increase the filter power (contrast) of a Bragg filter, either the amplitude of the photo-induced refractive index variations can be increased or the length of the filter can be increased. The present invention addresses the problem of increasing the length of the filter, which has the unwanted effect of narrower coupling to each of the cladding modes and therefore greater modulation of the filter response.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

The invention therefore provides a Bragg grating filter optical waveguide including a guiding first region doped with a material whose refractive index can be modified and a second region around the guiding first region, wherein the Bragg grating is formed in the optical waveguide as a quasi-periodic succession of variations of the optical refractive index along the length of the guide; the grating is inclined relative to a plane perpendicular to the axis of propagation of light in the waveguide; the Bragg grating further includes a variation of the period along the length of said waveguide; the variation of the period is a monotonous variation along the length of the fiber. In other words, the invention concerns an inclined Bragg grating filter having a linear "chirp" ("chirp" is the term usually employed by the skilled person to refer to the variation in the pitch of the Bragg grating).

Another preferred embodiment of the invention concerns a Bragg grating filter optical waveguide including a guiding first region doped with a material whose refractive index can be modified and a second region around the guiding first region; the Bragg grating is formed in the guiding first region as a quasi-periodic succession of variations of the optical refractive index along the length of the fiber; the Bragg grating further includes a variation of the period along the length of the

*fibre; the variation of the period is a monotonous variation along the length of the fiber; the grating is inclined relative to a plane perpendicular to the axis of propagation of light in the waveguide. In other words, the invention concerns a Bragg grating filter with linear chirp in which the grating is inclined.*

In various embodiments, the grating has a length between a few millimeters and a few centimeters.

In accordance with other features of the invention, some or all of said second region (cladding) is doped with a material whose refractive index can be modified and this material of the second (cladding) region is also modified to form a quasi-periodic longitudinal grating made up of inclined index modifications with a period  $\Delta L$ , monotonous along the length ( $z$ ) of said fiber and with the same variation ("chirp")  $\delta L(z)$  of said period  $\Delta L$ .

The invention can advantageously include the features of application A1 or French patent application 98 06905 (A2 - US equivalent SN 09/323,136).

The invention will be better understood after reading the following description and studying the accompanying drawings. The drawings are given by way of nonlimiting example of the invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

In all the figures, the same reference symbols designate the same components. For reasons of clarity not all the figures are to the same scale.

Figure 1 shows an optical fiber preform 1. The preform 1 includes a first cylinder 2 surrounded by an inner cylindrical ring 3 and an outer cylindrical ring 4. The cylinder and the rings represent the various layers of materials present in the optical fiber when it has been drawn. The radial dimensions of the cylinders and cylindrical rings 2 to 4 are geometrically similar to the much smaller dimensions of the corresponding parts of the optical fiber when it has been drawn. In practice, a fiber core and cladding respectively corresponding to layers 2 and 3 are each made up of several layers. The layers 2 to 3 are therefore doped with various dopants as the preform is made.

Figure 2 shows a preferred method of exposing a photosensitive material which can be used to create a grating made up of index modifications within the core 5 of a fiber. A similar method can be used to photo-inscribe a Bragg grating inside a photosensitive optical waveguide. In a prior art fiber, the core 5 is doped with germanium when the cylinder 2 is fabricated. The germanium-doped core is exposed over a length corresponding to a filter section 6 to two inclined beams 7 and 8 from a coherent laser. The bisector 9 of the angle between the beams is substantially perpendicular to the axis 10 of the core 5. As indicated in document D2 cited above, the laser beams 7 and 8 can be from a frequency doubled argon laser at a wavelength of 244 nm. According to the teaching of document D2, by inclining the axis 10 toward directions 11 or 12 relative to the normal to the bisector 9 it is possible to obtain inclined interference fringes and therefore an inclined grating made up of index modifications. Figure 2 shows in highly schematic section slices 13 of inclined discs. In practice the degree of modification evolves progressively between a minimum and a maximum between each fringe and the next. There are not really any discs, but this form of representation is convenient.

As an alternative to the above, the inclined grating can also be made using

a phase mask device.

Fabricating cores 5 with a diameter of  $9\text{ }\mu\text{m}$  is known in the art. The standard SMF-28 fiber from Corning Incorporated, New York, USA, is a monomode fiber with this diameter. The cylinders 3 and 4 form a cladding-tube system of these fibers. In one example, and in particular in that indicated hereinabove, the outside diameter D of the system is in the order of  $125\text{ }\mu\text{m}$  to  $130\text{ }\mu\text{m}$ .

In a variant, and as explained in applications A1 and A2, rather than merely doping the material 2 from which the core 5 is made with germanium, all or part of the material 3 of the cladding is also doped. Accordingly, on exposure, fringes 16 are developed not only in the core 5 but also in the cladding 3. Once again, the bottom part of Figure 2 is highly schematic and these fringes are not discs.

The section 17 in which the index modifications occur depends on the exposure limits. It has a length L. The differences between the maxima of the various modifications occupy a space  $\Delta L$  (in the order of  $0.5\text{ }\mu\text{m}$ ) corresponding to the distance between fringes. These periods produce filters at infra-red wavelengths (around  $1.5\text{ }\mu\text{m}$ ). The magnitude of the modification is related to the power of the two laser beams 7 and 8, the exposure time and the germanium concentration. The above parameters are beneficial for adjusting the filter constituted by the section 17.

Figure 3 shows a curve 18 which is a symbolic and somewhat exaggerated representation of the unwanted effects of erbium-doped optical fiber based optical amplifiers (EDFA - Erbium-Doped Fiber Amplifiers). These amplifiers are useful because they have a wide bandwidth centered on the wavelengths used in optical transmission. However, they have the drawback of imposing overamplification 19 at some places in the spectrum relative to the amplification 20 at other places in the spectrum. It is this overamplification 19 that has to be combated with a filter inserted into the propagation path of the waves from these amplifiers.

A curve 21 is a schematic representation of the filter obtained by incorporating a filter section 17 as shown in the lower part of figure 2. The characteristics of the filter are its Bragg wavelength  $\lambda_0$  (slightly greater than the center wavelength of the filter), the amplitude A of the selective attenuation that it imposes and its bandwidth B. It is known that  $\lambda_0$  depends on  $\Delta L$ , A depends on the degree of modification of the photosensitive materials inserted into the fiber and, for a standard Bragg grating with upright modifications, B depends on the length L of the section 17. Increasing the length L decreases the bandwidth B.

In the prior art with inclined modifications, where only the core 5 of the fiber

is doped with germanium, the bandwidth B is much greater than the bandwidth of the overamplification 19. Consequently, the fiber is mismatched in frequency terms. For the reasons already stated, with inclined modifications there would be no utility in increasing the length L.

Figure 4 shows the index profile obtained in an optical waveguide (here a fiber) in accordance with the invention. Relative to a central abscissa 0 in the middle of the core 5 of the fiber, there can be seen, on either side, the abscissae of the ends of the diameter of the core 5, at a distance of about  $4\ \mu\text{m}$ , and the abscissae of the ends of the diameter of the cladding 3, at a distance of approximately  $20\ \mu\text{m}$ . The refractive index profile features a step  $\Delta n = n_c - n_g$  in the order of 0.5%. This index profile is needed to propagate a single fundamental optical mode in the core of the fiber. This index profile is obtained by doping the core of the fiber with materials having the property of increasing the refractive index. Generally the doping is effected with germanium. Phosphorus can also be used to increase the index.

Germanium has a usable photosensitivity because of the modifications of the chemical bonds and the structure by exposure to constitute the grating made up of index modifications. Accordingly, the refractive index varies progressively along the section 17 with a variation  $\delta n$  and periodically from one fringe to the other. The variation  $\delta n$  is a fraction of  $\Delta n$ .

Figure 5 is a diagram showing the response of a filter in accordance with applications A1 to A3, with  $\delta n$  equal to  $1.65 \times 10^{-3}$ , the filter length  $L = 0.7\ \text{mm}$ , a grating inclined at a few degrees and a uniform (non-chirped) pitch. Note the smooth shape, relatively well matched to that of the amplification 19, as shown in figure 3, but also the very low contrast (or filtering power), which is only in the order of 0.25 dB.

Figure 6 is a diagram showing the response of a filter having the same fabrication parameters except that it is lengthened to a length L of 5 mm in an attempt to improve the contrast of the filter. The modulation due to the discrete nature of the response can be seen and is due to a reduction in the spectral width of the coupling to each cladding mode with the length of the filter. This filter cannot be used for the intended applications.

Figure 7 is a diagram showing the spectral shape of the coupling to a single cladding mode, on the left for an inclined grating with a length of a few millimeters but of constant pitch and on the right for a grating in accordance with the

invention with the same inclination and the same length but with a variation of the pitch (chirp) along the length (z) of the filter. The widening of the spectrum of coupling to each cladding mode smoothes the response curve of figure 6.

Figure 8 is a diagram showing one example of the response curve of one example of a filter in accordance with the invention. The fabrication parameters of the filter are identical to those of the filter from figure 6, except that here the pitch of the grating varies along the length (z) of the filter (it is chirped). It can be seen that the modulation due to the coupling to the cladding modes visible in figure 6 is eliminated, although the two filters are the same length. In contrast, there is a clear improvement in the contrast (filtering power) of the filter in accordance with the invention relative to the short filter from figure 5, because the greatest attenuation is at least -1.5 dB, as compared to -0.25 dB for the short filter.

Figure 9 is a diagram showing the geometry of a chirped and inclined grating filter in accordance with the invention. The reference symbols used are the same as in figure 2. By way of example, the various parameters could have the following values:

- Core refractive index  $n_c = 1.444$
- Cladding refractive index  $n_g = 1.449$
- Index step  $\Delta n = n_c - n_g = 5 \times 10^{-3}$
- Core diameter  $d = 8 \mu\text{m}$
- Cladding diameter  $D = 125 \mu\text{m}$
- Photo-inscribed filter length  $L = 5 \text{ mm}$
- Filter inclination  $\theta = 4^\circ$
- Bragg grating nominal pitch  $\Delta L = 540 \text{ nm}$
- Corresponding Bragg wavelength  $\lambda_B = 1562 \text{ nm}$
- Linear chirp value  $\delta L(z) = 0.2 \text{ nm/mm}$

As previously explained, choosing the values of these various parameters enables the filter designer to tune the center wavelength and the spectral response of the filter to an erbium-doped fiber optical amplifier, for example. However, consideration may be given to adapting a filter in accordance with the invention to any other light source or any other spectral problem to be solved. The length of the filter can be adjusted to obtain the required contrast and the angle of inclination must be adjusted to adjust the spectral width of the filter. As in applications A1, A2 and A3, various core/cladding index profiles and various core/cladding photosensitive dopings can be used to encourage or to eliminate some of the

coupling to the cladding modes.

The invention has been illustrated using the nonlimiting example of an optical fiber as an optical waveguide. The skilled person will know how to generalize this example to apply it to any kind of optical waveguide, particularly planar waveguides formed on a substrate, for example a silica substrate.

#### 4. Brief Description of Drawings

Figure 1 shows an optical fiber preform which can be used to make the filter optical fiber of the invention.

Figure 2 shows a process that can be used to prepare the optical fiber of the invention for its filter function.

Figure 3 is a frequency diagram showing, in one application, amplification defects of erbium-doped fiber optical amplifiers and the correction applied by the filter of the invention.

Figure 4 shows one example of a refractive index profile of the core and the cladding of the filter optical fiber of the invention.

Figure 5 shows one example of a transmission curve of a filter with a short (0.7 mm long) inclined Bragg grating, which is therefore of low contrast (-0.25 dB), implemented in accordance with application A1 or A2 or French patent application 98 06906 (A3 - US equivalent SN 09/316,396).

Figure 6 shows one example of the transmission curve of an inclined Bragg grating filter which is made longer (5 mm) for improved contrast.

Figure 7 compares the coupling to a cladding mode as a function of the propagated wavelength of inclined gratings without chirp and with chirp, diagrammatically and to an arbitrary scale.

Figure 8 shows one example of a transmission curve of a chirped medium-length (5 mm) inclined Bragg grating filter of the invention of greater contrast (-1.5 dB).

Figure 9 is a diagram which shows one example of an optical filter in accordance with the invention with a chirped inclined Bragg grating.



Fig. 1

FIG. 1

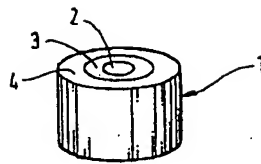


Fig. 2

FIG. 2

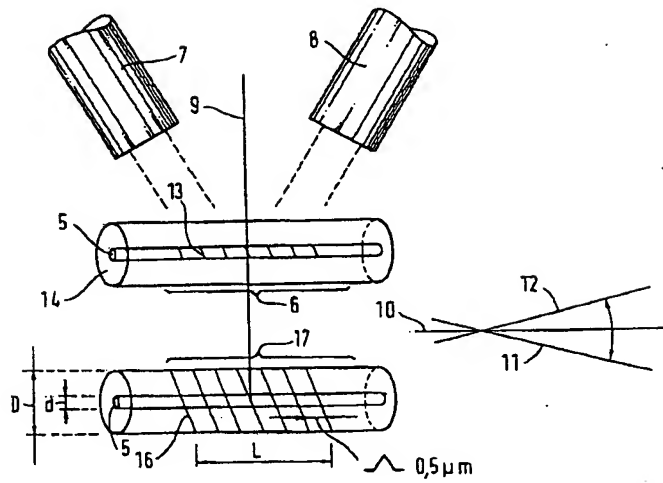


Fig. 3

FIG. 3

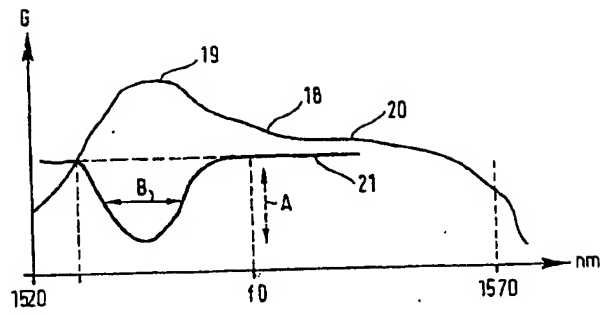


Fig. 4

FIG. 4

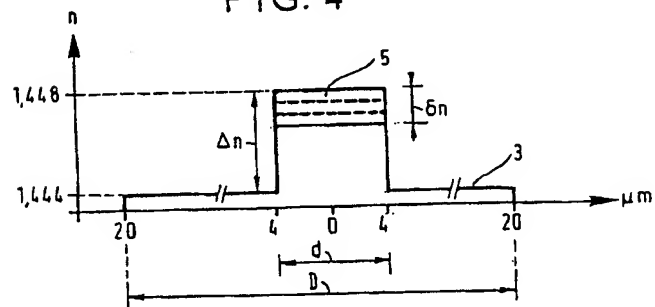


Fig. 5

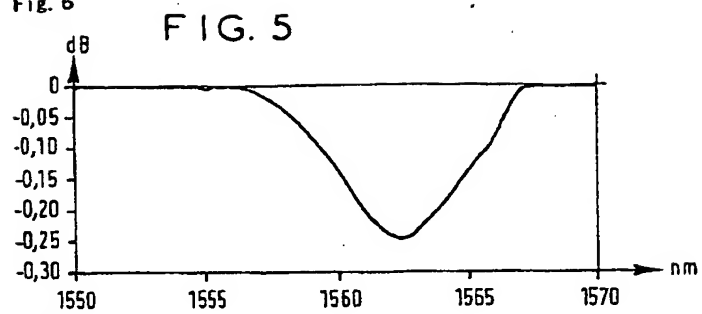


Fig. 6

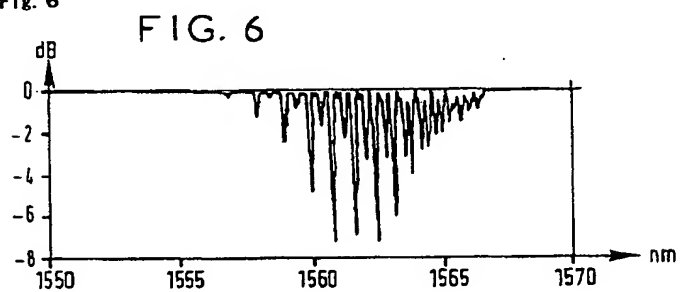
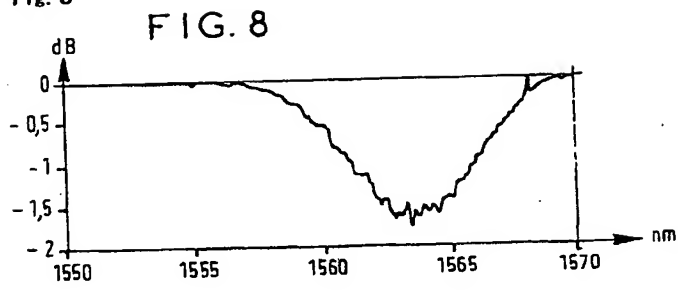


Fig. 7

FIG. 7



Fig. 8



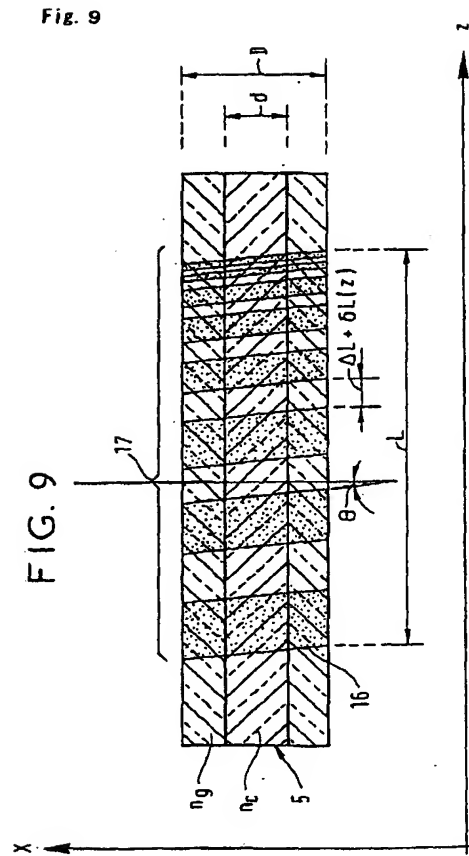


Fig. 9

**1. Abstract**

An angled Bragg grating optical waveguide section adjusts the spectral response of a transmission filter in an optical waveguide or in an optical fiber. To smooth the response of the filter, which is subject to modulation due to coupling to the various cladding modes, the pitch of the Bragg grating is caused to vary in a linear fashion along the length of the filter. To adapt the attenuation band to a required band, the cladding of the optical fiber is doped with a photosensitive material so that the grating is also formed in the cladding. The photosensitivity of the cladding is advantageously greater than that of the core, in a ratio in the order of 5:1.

**2. Representative Drawing**

Fig. 2